

УДК 669.02/09

**В.А. Сидоров**, канд. техн. наук, доц.,

**Е.В. Ошовская**, канд. техн. наук, доц.

Донецкий национальный технический университет

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН**

*В статье представлен анализ отказов гидропривода металлургической машины – холодильника МНЛЗ, выявлены причины их возникновения и даны рекомендации по устранению.*

**Ключевые слова:** гидропривод, холодильник МНЛЗ, гидроцилиндр, утечки, разрушение, циклограмма движения.

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

В металлургических машинах все чаще используется гидропривод, к достоинствам которого следует отнести: реализацию поступательного движения; малые скорости передвижения; минимизацию динамических нагрузок; создание значительных сил при малых габаритах; возможность бесступенчатого регулирования скорости движения. Одновременно с этим возникает задача изучения эксплуатационных свойств гидропривода в специфических условиях металлургического производства и информативности методов контроля состояния его элементов.

### ***Анализ исследований и публикаций.***

В [1, 2] представлены отдельные сведения о методах и средствах контроля технического состояния гидропривода строительных и сельскохозяйственных машин. Большинство из них сводится к тестированию гидроагрегатов на специальных стендах. Для металлургического оборудования необходим контроль непосредственно на месте технологического использования, что позволяет получать информацию о фактическом состоянии гидравлической системы.

***Постановка задачи.*** Одной из металлургических машин, в которой наиболее полно проявляются достоинства гидропривода, является холодильник МНЛЗ, используемый для охлаждения слитков. В данной статье изложены результаты анализа эксплуатации холодильника МНЛЗ, представлены причины возникновения неисправностей его гидропривода и даны рекомендации по их устранению и методам контроля технического состояния.

### *Изложение материала и результаты.*

Для охлаждения литых слитков, полученных на МНЛЗ, используется холодильник с шагающими балками (рисунок 1). Конструкция холодильника включает: неподвижные балки 1, подвижные балки 2, соединенные посередине форкопфом 3; восемь гидроцилиндров вертикального перемещения 4 подвижных балок; четыре гидроцилиндра горизонтального перемещения 5 подвижных балок. Крепление гидроцилиндров осуществляется при помощи кронштейнов, имеющих резьбовые соединения с опорными и перемещаемыми поверхностями.

В исходной позиции слиток опирается на неподвижные балки. Для перемещения слитка подвижные балки последовательно совершают вертикальное и горизонтальное перемещение. После опускания подвижных балок слиток устанавливается на последующую позицию на неподвижных балках. Подвижные балки 2 движутся вверх при помощи вертикальных гидроцилиндров 4 и поднимают слиток выше уровня неподвижных балок 1. Перемещаются подвижные балки при помощи горизонтальных гидроцилиндров 5. Рабочий ход включает подъем и перемещение слитков. Холостой ход происходит после опускания и возврата подвижных балок для обеспечения дальнейшего продвижения слитка [3]. Для реализации необходимой траектории движения слитка все гидроцилиндры вертикального и горизонтального перемещения должны работать синхронно. Крепление гидроцилиндров горизонтального и вертикального перемещения показано на рисунке 2.

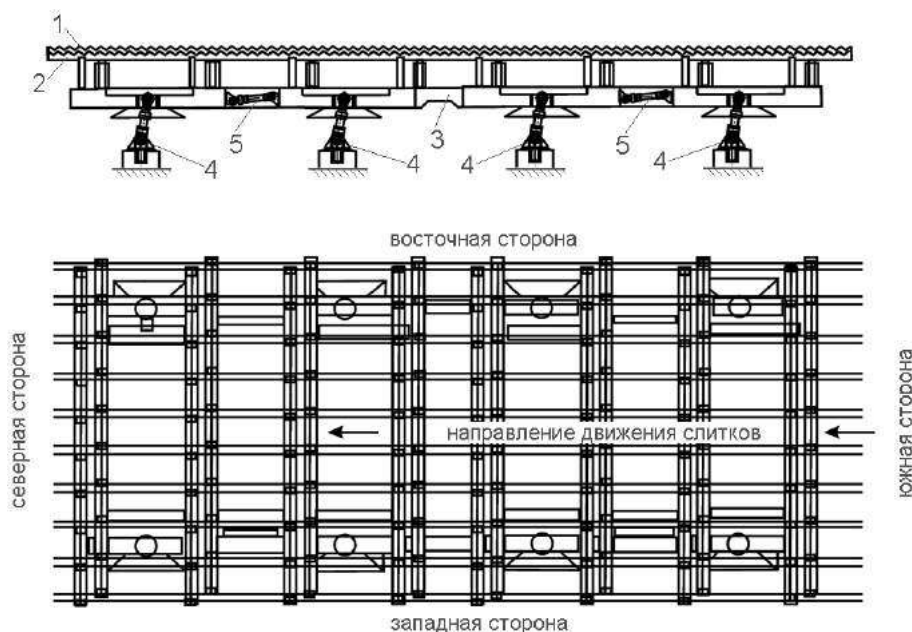


Рис. 1. - Холодильник с шагающими балками

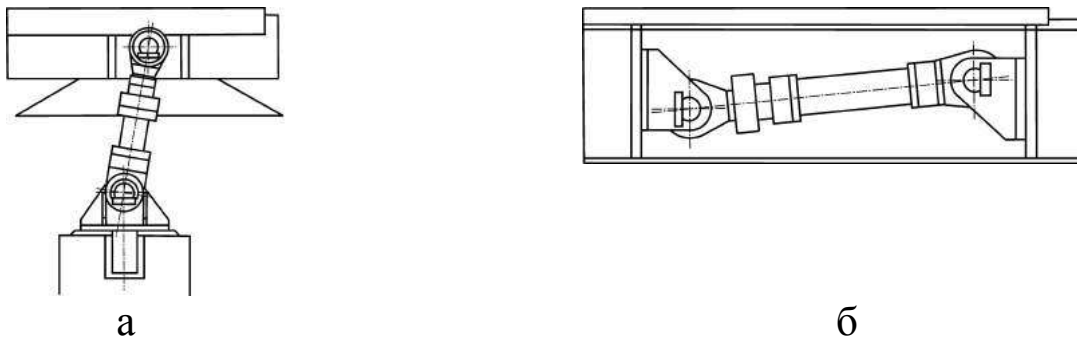


Рис. 2. – Гидроцилиндр вертикального подъема (а) и горизонтального перемещения (б)

В ходе эксплуатации холодильника отмечено изменение его технического состояния и показателей безотказности. Для анализа данных явлений использованы записи агрегатного журнала участка механического оборудования МНЛЗ. За 6 лет работы отмечено значительное увеличение количества отказов холодильника (рисунок 3), что указывает на ускоренный процесс старения его элементов. Изменение числа отказов имеет нарастающий волнообразный характер. Время между отказами вначале составляло 5 месяцев. Далее временной интервал между отказами сократился до 3 месяцев, что указывает на интенсификацию процессов разрушения элементов оборудования. Отказы группируются по сезонам – осень, весна. Возрастание количества отказов характерно для окончания летней компании (осень), начала года и весны. Это можно объяснить разной загруженностью оборудования.

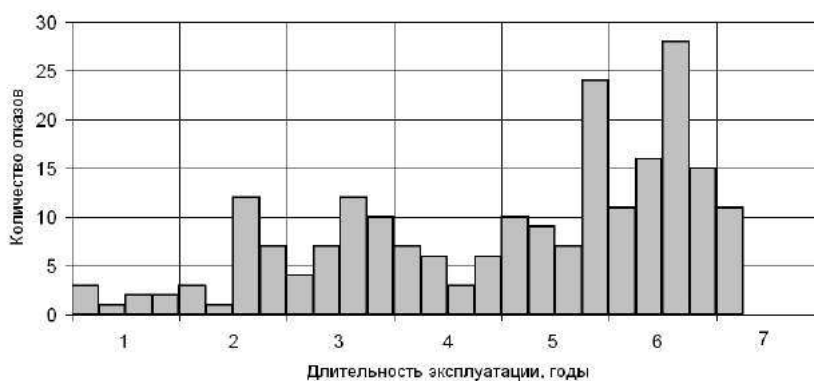


Рис. 3. – Изменение количества отказов холодильника

Обработка статистических данных об отказах холодильника показала, что его наработка на отказ адекватно описывается законом распределения Вейбулла, интегральная функция которого имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-(t/a)^b},$$

где  $a$ ,  $b$  – параметры закона распределения, соответственно равные  $a=15,2$  сут.,  $b = 0,83$ .

Установленный вид закона распределения подтверждает тот факт, что данный закон широко применяется для описания наработок на отказ сложных систем, к которым можно отнести холодильник МНЛЗ. А значение параметра закона  $b = 0,83$  свидетельствует о том, что в системе преобладают внезапные отказы.

Основные отказы холодильника связаны с элементами гидропривода, а именно, с выходом из строя уплотнений, штуцеров и фланцевых соединений маслопроводов, загрязнением фильтроэлементов; ослаблением и разрушением резьбовых соединений креплений гидроцилиндров и кронштейнов. Проявлением большинства отказов гидропривода холодильника являются утечки разнообразного происхождения. К ним относятся утечки, связанные с трещинами маслопровода (брак при изготовлении), неудовлетворительной затяжкой фланцевых соединений, обрывами рукавов и т.д. После первого года эксплуатации количество утечек возросло в 5 раз и далее сохранялось в среднем на уровне 23 отказа в год (рисунок 4).

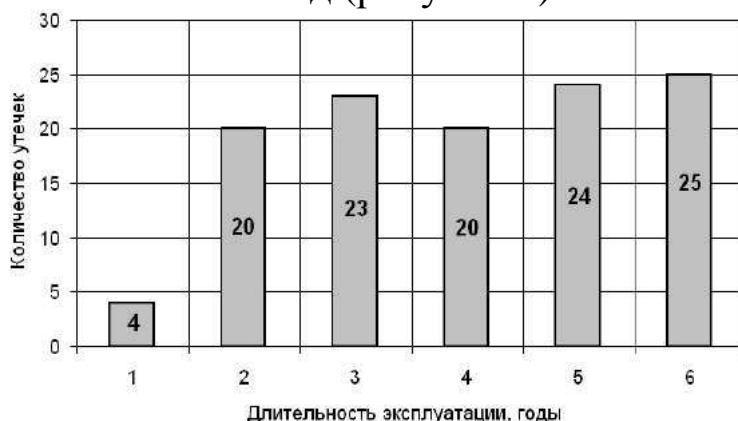


Рис. 4. – Изменение количества утечек в гидроприводе холодильника МНЛЗ

Анализ записей агрегатного журнала позволил выявить следующие причины возникновения утечек в гидроприводе холодильника:

- 1) использование некачественных уплотнений;
- 2) загрязнение фильтроэлементов на различных участках и их несвоевременная замена.

Необходимо отметить, что утечки рабочей жидкости в системе гидропривода вызывают ее перепады давления, что приводит к не синхронности срабатывания гидроцилиндров холодильника. А это, в свою очередь, способствует разрушениям резьбовых соединений креплений гидроцилиндров из-за неравномерного распределения нагру-

зок на елементи холодильника. Поэтому дальнейшие исследования были связаны с анализом параметров движения холодильника для изучения проявлений несинхронности срабатывания гидроцилиндров.

Рабочий цикл движения холодильника с шагающими балками состоит из следующих этапов: подъем подвижных балок с заготовками; продвижение заготовок вперед на один шаг; опускание заготовок на следующий зуб неподвижных балок; возврат подвижных балок в исходное положение. Благодаря особой форме зуба шагающей балки заготовка разворачивается на  $90^0$  в ходе каждого цикла. Таким образом, заготовка подвергается равномерному охлаждению и все четыре ее поверхности проходят по шагающим балкам.

Рассмотрение диаграмм перемещения подвижных балок холодильника (рисунок 5) позволило установить, что фактический цикл движения включает этапы: движение вверх, движение вперед, торможение, период колебаний, движение вниз, движение назад, торможение, возвращение в исходную позицию. На рисунке 5 указаны характерные точки движения холодильника:

- 1', 1 – начало движения вверх;
- 2', 2 – конец движения вверх – начало движения вперед;
- 3', 3 – начало торможения движения вперед;
- 4', 4 – конец торможения – начало движения вниз;
- 5', 5 – конец движения вниз – начало движения назад;
- 6', 6 – начало торможения движения назад;
- 7', 7 – конец торможения движения назад – конец движения назад.

Цифры, отмеченные «'», соответствуют линии задатчика движения.

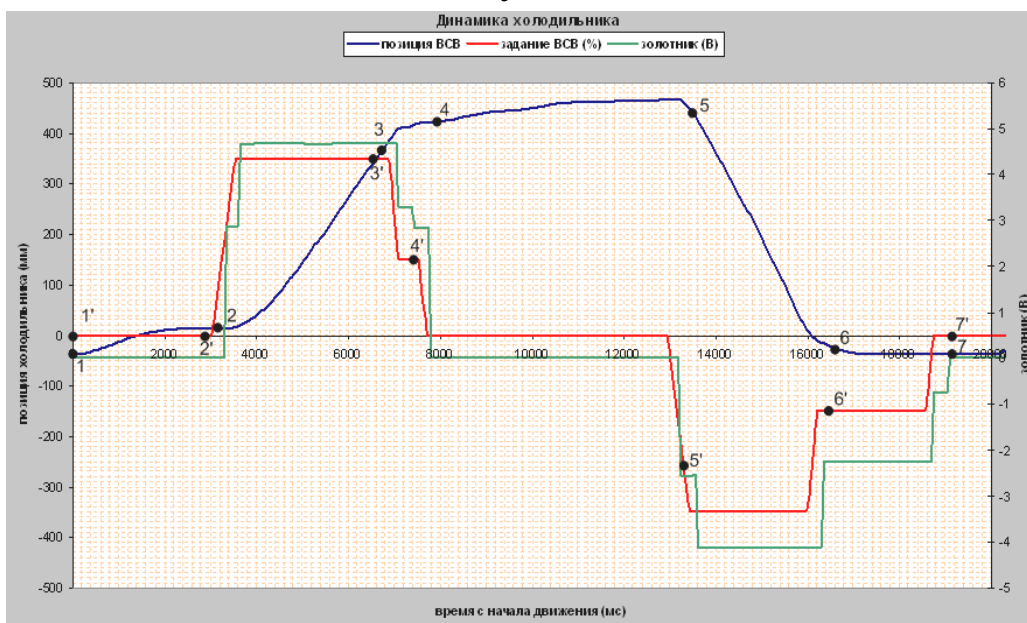


Рис. 5. – Типичные диаграммы перемещений подвижных балок

Представленные графики отражают отклонения между заданной позицией управляющего золотника и фактическим положением холодильника. Так, например, на циклограмме отмечена точка горизонтального перемещения холодильника – 464 мм, при ходе поршня гидроцилиндра горизонтального перемещения – 460 мм. Кроме того рассмотрение циклограмм показало, что временные рамки этапов движения нестабильны. В таблице 1 представлены измерения длительности движения штоков гидроцилиндров горизонтального перемещения на разных этапах цикла, а в таблице 2 – измеренные значения скорости движения штоков. Следует отметить, что измеренные значения отличаются от номинальных. Относительные отклонения фактических длительностей составили 3,2 – 7,6 % при номинальной длительности движения вперед и назад равной 4 с. Номинальная скорость движения составляет 90 мм/с. Кроме того, имеются различия в длительности движения по гидроцилиндрам. Все это отражает несинхронность работы гидроцилиндров горизонтального перемещения и указывает на наличие утечек.

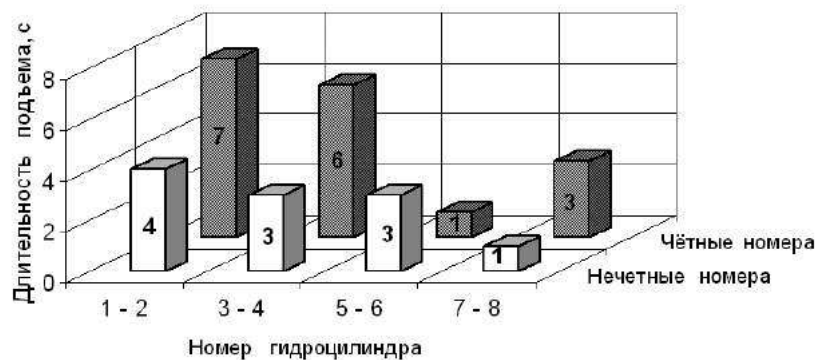
Таблица 1 – Длительность движения (с) штоков гидроцилиндров горизонтального перемещения

Этап движения			
«Вперед»	«Колебания»	«Назад»	«Возвращение»
1-й опыт			
3,85; 3,65; 3,8	4,9; 5,25	3,0; 2,9	1,5; 1,55
2-й опыт			
3,7; 3,55; 3,65; 3,8; 3,6	2,4; 2,4; 2,6; 2,6; 2,6		
3-й опыт			
3,9; 3,9; 3,8; 3,8; 3,8; 3,8	3,1; 3,1; 2,9; 2,6; 2,6; 2,8		

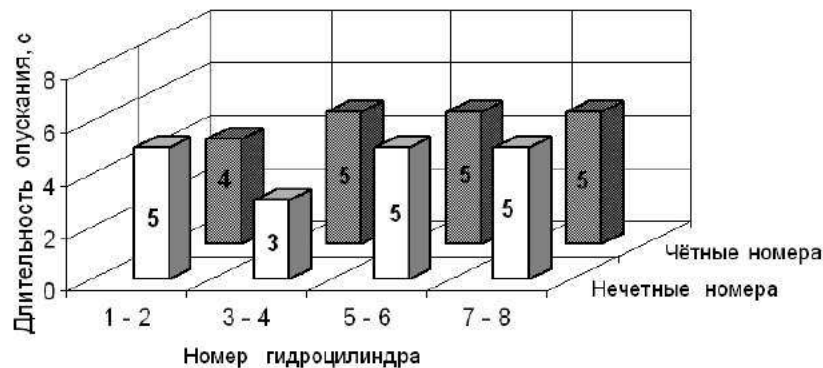
Таблица 2 – Скорость движения (мм/с) штоков гидроцилиндров горизонтального перемещения

Этап движения			
«Вперед»	«Колебания»	«Назад»	«Возвращение»
108,5...113,5	9,2...9,6	154,8...156,8	30

На гистограммах (рисунок 6) представлена зареєстрована автоматической системою довготривалість підйому і опускання штоків гідроциліндрів вертикального переміщення за один цикл руху холодильника. Із гистограмм слідує, що довготривалість підйому по циліндрам має помітну різницю – до 4...6 с. При опусканні наблюдается відносна рівномірність руху – різниця в часі спрацювання гідроциліндрів не перевищує 2...3 с. Характер руху по парних і непарних номерах гідроциліндрів відрізняється, що свідчить про різну ступінь витоків по виконавчим елементам.



а



б

Рис. 6. – Гистограммы длительности работы цилиндров при подъеме (а) и опускании (б) подвижных балок холодильника

Кроме витоків в гидросистеме, обумовлюваних несинхронність руху штоків гідроциліндрів, котра сприяє нерівномірному навантаженню елементів холодильника, на його безотказність впливають перекося конструкції і додаткові динамічні навантаження, виникаючі в процесі експлуатації.

Так, в результате осмотра холодильника было обнаружено, что зазоры между подушками неподвижных балок и подушками подвижных с западной стороны равны нулю, а с восточной стороны составляют 33,0 мм в начале и 5,0 мм в конце холодильника. Такие перекосы конструкции объясняют неравномерное распределение сил в резьбовых соединениях крепления гидроцилиндров, зарождение и развитие трещин в них.

В периоды подъема и опускания подвижных балок возникает «кантовка» – смещение слитка по направляющим элементам в результате несовпадения шага неподвижной зубчатой рейки с шагом подвижной зубчатой рейки. Это приводит к дополнительным воздействиям ударного характера на элементы конструкции и объясняет наличие периода колебаний на циклограмме. Для оценки уровня ударных воздействий использовались параметры вибрации.

Измерение виброускорения (рисунок 7) на перемещаемых кронштейнах гидроцилиндров №3 и 4 северной стороны позволило установить границы этапа колебаний при перемещении подвижных балок и оценить динамические силы, действующие на конструкцию.

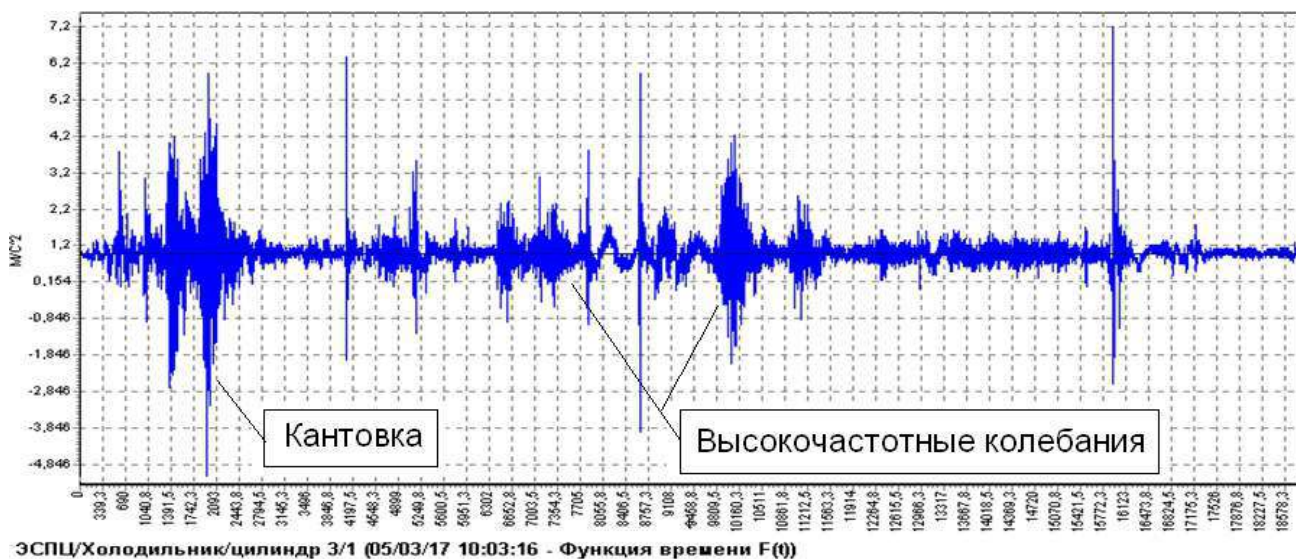


Рис. 7. – Временной сигнал виброускорения по гидроцилиндру №3 вертикального перемещения

Зарегистрированный размах виброускорения в начале движения составляет 5,0 м/с<sup>2</sup>, далее был зафиксирован размах колебаний виброускорения – 22,0 м/с<sup>2</sup>. Этим значениям соответствуют весьма значительные динамические нагрузки на элементы:

$$P = m \cdot a = 67000 \cdot (5 \dots 22) = 335 \dots 1474 \text{ кН},$$



где  $m = 67$  т – масса перемещаемых частей (подвижные балки без заготовок). Данные силы вызывают разрушение резьбовых соединений крепления гидроцилиндров и металлоконструкций.

Размах колебаний виброскорости, зафиксированный в период колебаний, достигал 57,0 мм/с. Это позволило оценить уровень кинетической энергии, многократное накопление которой в элементах конструкции также приводит к их разрушению:

$$E = \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{117000 \cdot 57^2 \cdot 10^{-6}}{2} \approx 200 \text{ Дж},$$

где  $m = m_1 + m_2 = 50 + 67 = 117$  т – масса перемещаемых частей (подвижные балки с заготовками).

### ***Выводы и направление дальнейших исследований.***

Таким образом, техническое состояние элементов гидропривода металлургических машин можно оценивать на основании анализа параметров движения и вибрации. Использование такого подхода для холодильника МНЛЗ позволило сделать следующие выводы о причинах возникновения отказов элементов его гидропривода.

1. Зарождение и развитие трещин в резьбовых соединениях крепления гидроцилиндров, а также ослабление усилия затяжки вызваны несинхронностью работы гидроцилиндров горизонтального и вертикального перемещения подвижных балок; перекосами конструкции и дополнительными ударными нагрузками, связанными со смещением слитков и возникающими при подъеме и опускании балок.

2. Несинхронность работы гидроцилиндров горизонтального и вертикального перемещения в значительной мере обусловлена утечками в гидросистеме и неравномерном движении потоков рабочей жидкости по трубопроводам.

3. Кинетическая энергия, связанная с колебательным движением элементов конструкции и накапливаемая в них за определенный период времени, может выступать критерием безотказной работы механизма, а определение предельных значений энергии, вызывающих появление трещин в креплениях гидроцилиндров и металлоконструкциях холодильника, представляет направление дальнейших исследований.

Кроме того, для снижения числа отказов гидропривода холодильника МНЛЗ и устранения их причин возникновения было рекомендовано осуществить следующие мероприятия.

1. Выполнить промывку гидросистемы.
2. Провести геодезическую съемку фундамента, т.к. возможны сезонные изменения положения рабочего поля холодильника.
3. Регулярно контролировать равномерность и значение усилия затяжки болтов крепления кронштейнов.
4. Проверить поступление смазки к шарнирам крепления гидроцилиндров; выполнить принудительную смазку шарниров и очистку от грязи и окалины.
5. Провести проверку работы средств автоматизации холодильника, а именно средств отсчета времени работы гидроцилиндров.

Указанные рекомендации переданы в цех для реализации. Внедрение данных предложений позволило снизить число отказов холодильника и стабилизировать работу оборудования.

#### Список литературы

1. Алексеева Т.В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т.В. Алексеева. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
2. Гидропривод. Основы и компоненты: изд. 2 (на русском языке) / Х. Экснер, Р. Фрейтаг, и др.; Бош Рексрот АГ Х. – Заказной номер: RRS 00 290/2003.
3. Шагающий конвейер нагревательных печей (ч. 1). Развитие конструкций и областей применения: учеб. пособие / С.В. Белодеденко, Ли Юн – цзинь, В.К. Цапко; под ред. С.В. Белодеденко. – Днепропетровск: НМетАУ, 2001. – 69 с.

*Стаття надійшла до редколегії 11.10.2011.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.П. Єронько*

***В.А. Сидоров, О.В. Ошовська. Аналіз стану елементів гідроприводу металургійних машин. У статті представлено аналіз відмов гідроприводу металургійної машини – холодильника МНЛЗ, виявлено причини їх виникнення та надані рекомендації по усуненню.***

**Ключові слова:** гідропривід, холодильник МБЛЗ, гідроциліндр, витікання, руйнування, циклограма руху.

***V. Sidorov, E. Oshovskaya. State Analysis of Hydraulic Drive Elements of Metallurgical Machines. The paper presents a failure analysis of the hydraulic drive of metallurgical machine – caster's refrigerator, causes of the failure are identified and recommendations for removal are given.***

**Keywords:** hydraulic drive, caster's refrigerator, hydraulic cylinder, leakage, destruction, movement sequence diagram.

© Сидоров В.А., Ошовська О.В., 2011